

MÉSZÁROS ERNŐ

A lakható bolygó



*Mészáros Ernő
meteorológus
az MTA rendes tagja*

A Föld a Naprendszer bioszférával rendelkező, ún. **lakható bolygója**. Az élet keletkezését a Föld Naptól mért távolsága és nagysága tette lehetővé. Kialakulása után a bioszféra kölcsönhatásba került a **geoszférákkal**, és fontos szerepet játszott abban, hogy a magasabb rendű, bonyolultabb élet feltételei megteremtődjenek. Így létrejöttek bolygónk különleges tulajdonságai, amelyek alapvetően különböznek a Naprendszer többi bolygóján uralkodó állapotoktól. A Föld mai képének formálását időnként váratlan, kozmikus események is befolyásolták. A jelenlegi földi környezet hosszú változások eredménye. A Föld története során a bioszférában lényeges változások történtek. Az ember megjelenése a Földön új feltételeket teremtett. Tevékenysége során az ember környezetalakító tényezővé vált, s ez globális veszélyeket jelent arra a környezetre, amelynek az ember kialakulását és életét köszönheti.

A nélkülözhetetlen víz

A víz a Földön mindhárom fázisban előfordul, és a földi környezet legfontosabb összetevője. Nélkülözhetetlen volt az élet keletkezéséhez, és elengedhetetlen a jelenlegi bioszféra fenntartásához (1. ábra). Az óceánok

1935-ben született. Az ELTE Természettudományi Karának meteorológus szakán diplomázott 1957-ben. 1966-ban a földtudomány kandidátusa, 1970-ben doktora lett. 1985-től az MTA levelező, 1990-től rendes tagja.

Pályáját az Országos Meteorológiai Szolgálatnál kezdte, később a Központi Légtérfizikai Intézet igazgatója lett. 1992–1997 között a Veszprémi Egyetem Analitikai Kémiai, 1997-től a Föld- és Környezettudományi tanszéken egyetemi tanár, a Meteorológiai Világszervezet volt környezeti szakértője, az MTA–VE Levegőkémiai Kutatócsoport vezetője, a Veszprémi Akadémiai Bizottság elnöke. Számos magyar és nemzetközi tudományos folyóirat – az *Időjárás*, a *Journal of Atmospheric Chemistry*, az *Atmospheric Environment* – szerkesztőbizottsági tagja.

Főbb kutatási területe: a környezettudomány, ezen belül a levegőkémia.



1. ábra. A Föld, az élő bolygó

Lakható bolygó:

olyan bolygó, amelynek hőmérséklete lehetővé teszi, hogy a víz mindhárom halmazállapotban előforduljon, illetve kizárja, hogy a szén-dioxid megfagyjon, vagy hogy csak gáznemű halmazállapotban forduljon elő. Ezek – egyebek mellett – az élet keletkezésének és fejlődésének alapvető feltételei.

Geoszféra:

a Föld minden bioszférán kívüli tartománya: a hidroszféra, a légkör és a szilárd kőzet, a litoszféra.

kitüntetett szerepe egyrészt abban áll, hogy a bioszféra nagy része ma is itt található, másrészt az óceánok párolgása szolgáltatja a szárazföldi élet számára az édesvizet. Az óceánok tehát meghatározó szerepet játszanak a víz körforgalmában. A felszíni párolgással innen indul a víz körforgalma, majd a folyók vízszállításával, illetve az óceánokba hulló csapadékvízzel itt is zárul.

A csapadékkal, a folyóvízzel azonban a vízen kívül számos más anyag is érkezik az óceánokba, amelyek – legalábbis időszakosan – a tengeri üledékbe kerülnek. A körforgalom során az óceánokban hosszabb-rövidebb ideig minden elem megfordul. Az óceánokba kerülő különböző ionok miatt sós a tengervíz. Átlagos sótartalma 3,5 tömegszázalék körül ingadozik. A só jelentős része nátrium-kloridból, kisebb része magnézium-kloridból, magnézium-szulfátból, illetve egyéb anyagokból áll.

A különleges összetételű légkör

Ha valami különleges bolygónkon, akkor az a légkör. Ez a levegőnek nevezett gázkeverék ugyanis messze van a fizikai-kémiai egyensúlyi feltételektől. Az erősen oxidáló közegben redukált állapotú gázok (például metán) is előfordulnak. A redukált állapotban lévő gázok relatív koncentrációja ugyan kicsi (ún. nyomgázok), ennek ellenére számos légköri folyamat szabályozásában aktívan részt vesznek. Ha a fő légköri összetevőket – azaz nitrogént és oxigént tartalmazó gázkeveréket – laboratóriumban vízfelszínnel hoznánk érintkezésbe, és a rendszert megvilágítanánk a napsugaraknak megfelelő sugárzással, akkor az oxigén lassan oxidálná a nitrogént, és egyensúly esetén a két elem nitrát formájában a vízbe kerülne. Ezzel szemben jelenleg a két elem a légkörben fordul elő egymás mellett. Az egyensúlytól való eltérés – más szavakkal a rendezettség – fenntartása tipikusan az élő szervezetek tulajdonsága. Ilyen alapon jutott el J. A. Lovelock angol

kutató ahhoz a filozófiai mélységű gondolathoz, hogy légkörünk tulajdonképpen a bioszféra része.

Mind a nagy, mind a kis légköri nyomással rendelkező Vénusz, illetve Mars légkörét elsősorban szén-dioxid építi föl (1. táblázat).

Gáz	Vénusz	Föld (egyensúlyi)	Mars
Szén-dioxid	90 000	0,3 (300)	5
Nitrogén	1 000	780 (30)	0,05
Oxigén	0	210 (0,3)	0,1

1. táblázat. A Föld és bolygó-szomszédai légkörének összetétele hPa egységekben kifejezve. Zárójelben a Föld egyensúlyi (élet nélküli) összetétele

A Vénusz a Naphoz kb. 28 százalékkal közelebb van, mint a Föld. Ráadásul a nagy mennyiségű szén-dioxid jelentős üvegházhatást okoz, ami a hőmérséklet emelkedéséhez vezet. Becslések szerint: ha a Föld a Naphoz csupán 6 százalékkal közelebb lenne, akkor bolygónkon is olyan pokoli hőmérséklet és nyomás uralkodna, mint amelyet az élet nélküli Földre vonatkozó adatok mutatnak. Ha a Vénuszon és a Földön a szénmolekulákat összeszámolnánk, akkor meglepően hasonló értéket kapnánk. A Vénuszon azonban a szén a légkörben mint szén-dioxid van jelen, míg a Földön elsősorban az üledékes **kőzetek**ben található karbonátok formájában. Az eltérést a hőmérséklet különbsége (és a bioszféra) okozza. A szén egyensúlyi formája 300 °C-nál magasabb hőmérsékleten a szén-dioxid, alacsonyabb hőmérsékleten pedig a karbonát.

A földi légkörben levő molekuláris oxigén a bioszféra terméke. A növények – mint ismeretes – a Nap energiáját felhasználva vízből és szén-dioxidból **fotoszintézissel** szénhidrátokat állítanak elő. Az oxigén jelenléte alapvető jelentőségű: oxidációval (égéssel) lehetővé teszi az energiatermelést. Így az ember és az állatok légzéssel és a szénhidrátok felvételével visszanyerik azt az energiát, amelyet a növények a napenergiából felhasználtak. Másrészt az oxigén részt vesz az elhalt élő anyag elbontásában – arról már nem is beszélve, hogy az ember az energiát a fa, illetve fosszilis tüzelőanyagok elégésével termeli.

Kőzetek:

meghatározott ásványokból álló természetes képződmények.

Fotoszintézis:

egyes baktériumok és felsőbbrendű növények anyagcseré-folyamata, amelynek során a Nap energiájának felhasználásával szén-dioxidból és vízből szerves anyagokat, szénhidrátokat állítanak elő. A fotoszintézis során oxigén szabadul fel. A fotoszintézissel ellentétes folyamat a légzés és a bomlás.

Ásványok:

homogén, meghatározott kémiai képletű kristályokból álló anyagok.

A talaj

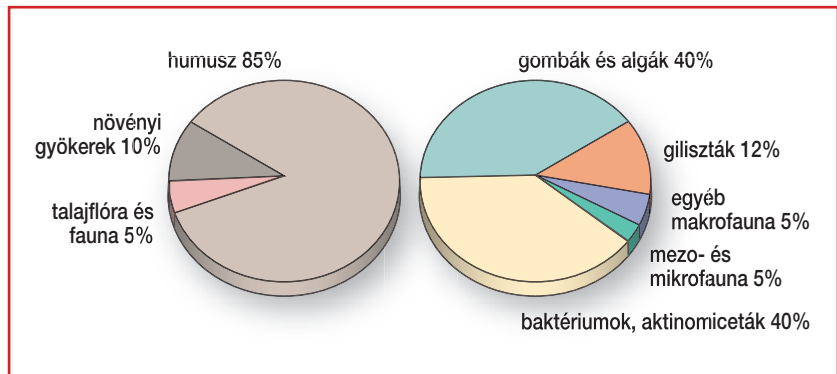
A talajok jellemzésére többféle meghatározás született. Az egyik a talajok *keletkezési mechanizmusán* alapul. Eszerint a talaj a Föld legkülső mállott kérgé, amely az egymással kölcsönhatásban lévő különböző környezeti szférák (litoszféra, hidroszféra, légkör, bioszféra) zónájában a talajképződési folyamatok hatására alakult ki. A *rendszerelméleti* megközelítés szerint a talaj egy élő és egy élettelen alrendszerből álló önszabályozó rendszer, amelynek két alrendszere maga is több részrendszerből épül fel (2. ábra). Így a biológiai (élő) alrendszert az élő szervezetek sokasága, míg az élettelen alrendszert szerves és szervetlen vegyületek, **ásványok**, valamint ásványokból és



Élő szervezetek a talajban



2. ábra. A talaj két alrendszerének százalékos összetétele, Szabó (1986) nyomán



Asztenoszféra:

a Föld kb. 100 kilométernél nagyobb mélységben lévő rétege. Halmazállapota képlékeny, így csúsznak rajta a litoszféramezek.

Óceáni hátság:

az óceánok aljzatában kialakult hatalmas gyűrődés, amelyet a mélyből feláramló magma hoz létre. Az Atlanti-óceán közepén húzódó hátság részei: Izland és a Falkland-szigetek.

Magma:

a Föld anyagának olvadt állapotban lévő része.

Belső bolygók:

A Naphoz közeli bolygók: a Merkúr, a Vénusz, a Föld és a Mars. Sűrűségük nagyobb, nagyságuk kisebb, mint a külső bolygóké. Felépítésük a Földéhez hasonló, ezért Föld-típusú bolygóknak is nevezik őket.

Külső bolygók:

a Jupiter, a Neptunusz és az Uránusz. A belső bolygóknál jóval nagyobb, ún. óriásbolygók. Felépítésük a belső bolygókétól különbözik. Anyagukat főleg hidrogén, hélium és metán építi föl.

szerves anyagokból álló bonyolult vegyületek alkotják. Az élettelen alrendszer komponensei mindhárom fázisban, illetve vízben oldott állapotban is előfordulnak.

Mindkét definícióból következik, hogy élő szervezetek nélkül nincs talaj, illetve élőlények élettelen környezetük nélkül talajt nem képezhetnek. Ez azt is jelenti, hogy a Földön talaj csak a szárazföldi bioszféra meghonosodása óta, vagyis mintegy négyszázmillió éve létezik.

A talaj a szárazföldi növények alapvető éltető közege. Ebből következik, hogy biztosítja a szárazföldi növényevő állatok (ezen keresztül a ragadozók) létezését, valamint az ember egyik legfontosabb tevékenységét, a mezőgazdasági termelést. Számunkra a talaj a legfontosabb erőforrások egyike, amely feltételeken megújuló és megújítható. Ellentétben azonban a megújuló erőforrásokkal (például napenergia), a mezőgazdasági talaj megújulása nem megy végbe önmagától, hanem az ember aktív tevékenységét követeli meg. A talaj és környezete között állandó anyag- és energiacsere folyik, a talaj raktározza a növények számára a hőt, a vizet és a tápanyagokat.

Lemeztektonika

A 6370 kilométer sugarú Föld réteges szerkezetű. A legbelső, a legnehezebb földi elemekből álló magot a köpeny borítja. A köpeny felső részén helyezkedik el az **asztenoszféra** (a felszíntől lefelé haladva kb. 100 kilométernél mélyebben), ami megolvadt képlékeny anyagból áll. Az astenoszféra fölött helyezkedik el a litoszféra, ennek felső, 10–40 kilométeres rétegét nevezzük földkéregnek. A litoszféra hatalmas lemezekből áll, amelyek mozognak, csúsznak az alattuk fekvő astenoszférán. A lemezek mozgásának sebessége elérheti az 1 cm/év értéket. A lemezek mozgását, az ún. nagy földi dinamikát az **óceáni hátságok**nál feláramló forró **magma** hozza létre, amelynek szétáramlása a lemezeket mozgásra készíti. Ebből a szempontból a legismertebb az Atlanti-óceáni hátság, amelynek egyes részei (például Izland) kiemelkednek az óceánok vizéből. Bár vulkanikus tevékenység az óceáni hátságoknál is megfigyelhető, vulkánok és földrengések elsősorban a lemezek találkozásakor keletkeznek, amikor az egyik lemez a másik alá süllyed. Két óceáni lemez találkozásakor bármelyik a másik alá süllyedhet, egy óceá-

ni és egy szárazföldi lemez találkozásakor mindig az óceáni lemez bukik alá. Ha viszont két kontinentális lemez ütközik, akkor hatalmas gyűrődések, hegységek keletkeznek, mint például az Alpok és a Himalája, amelyek a földtörténet nem is olyan távoli időszakában az európai és afrikai, illetve az indiai és eurázsiai lemezek összeütközésekor keletkeztek. A lemezek mozgása miatt a múltban változott a szárazföldek elhelyezkedése. Ugyanakkor a szárazföldek területének összege változatlan maradt.

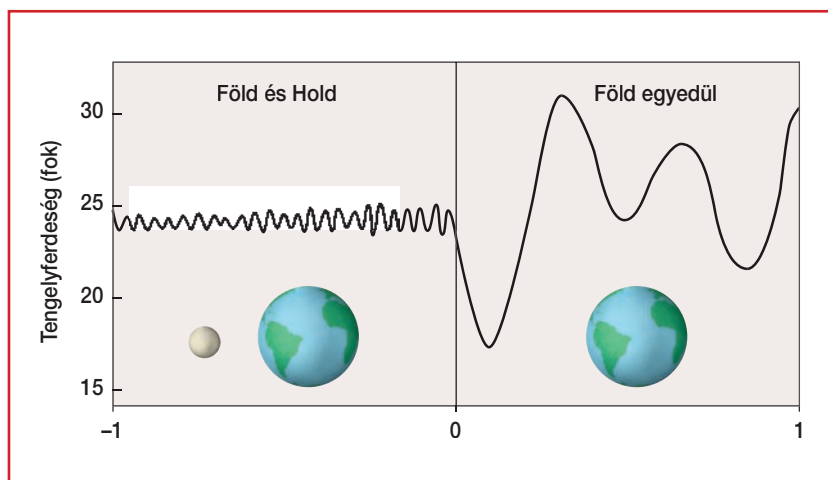
A Hold és az éghajlat

A Naprendszerben számos bolygónak van égi kísérője, holdja. Így tehát semmi különös sincs abban, hogy a Föld sem kivétel. Van azonban valami, ami a mi Holdunkat a Naprendszerben egyedülállóvá teszi: a bolygójához viszonyított nagysága, illetve tömege. Gondoljuk csak el, a kis Föld kísérője körülbelül akkora, mint a Naprendszer óriásának, a Jupiternek a legnagyobb holdjai. Ebből következik, hogy a Föld és a Hold között igen jelentős a dinamikai kölcsönhatás, ami a Föld egész fejlődését lényegesen meghatározta, és ami a földi élet, pontosabban az éghajlat szabályozásában ma is alapvető.

Közismert tény, hogy a Föld forgástengelyének a keringési pálya síkjára merőleges irányhoz viszonyított dőlése okozza az általunk megszokott évszakok szabályos váltakozásait. A dőlési szög jelenleg $23,5^\circ$. Ez a dőlés az elmúlt kétmillió év alatt némileg módosult ($\pm 1,3^\circ$), befolyásolva a jégkorszakok és meleg időszakok változását. Lényegében azonban a Föld története során állandó maradt (3. ábra), mint ezt az éghajlatra vonatkozó geológiai leletek bizonyítják. A modellszámítások eredményei ugyanakkor azt mutatják, hogy a többi Föld-típusú **belső bolygó** (Merkúr, Vénusz, Mars) tengelydőlése a múltban kaotikusan változott, míg a **külső óriásbolygók** (Jupiter, Szaturnusz, Neptunusz és Uránusz) tengelyferdesége sokkal állandóbb volt. A numerikus vizsgálatokból az is következik, hogy a Hold nélkül a Föld tengelyének dőlése 0 és 85° között kaotikusan változna. A jelenlegi dőlésszög a bioszféra szempontjából optimálisnak mondható.



A Szent András-törés



3. ábra. A Hold hatása a Föld forgástengelyének dőlésére (Barrow, 1998); balra: a múltban, modellszámítások alapján; jobbra: a jövő, ha égi kísérőnk elhagyna bennünket



A kérdés még érdekesebb, mert a szakemberek között egyre inkább elfogadott az a nézet, hogy a Hold – valamikor a Naprendszer születésének hajnalán – a Föld és egy közel Mars-nagyságú égitest összeütközése útján jött létre. Az összeütközés miatt az éppen megszületett Földből hatalmas tömeg szakadt le, amelyből a Hold keletkezett. Az ilyen összeütközések „véletlenszerű” eseményeknek tekinthetők. Vajon egy véletlen égi katasztrófa segítette elő, hogy a Föld az élet számára alkalmassá váljék?

A Föld rövid története

A Föld 4,6 milliárd évvel ezelőtt alakult ki.

2. táblázat. A Föld kora abszolút és relatív egységekben (a bolygó korát egy évnek tekintve)

Esemény	Évek a múltban	Föld kora = 1 év
A Föld keletkezése	4,6 milliárd	Január 1.
Élet keletkezése (prokarióták)	3,8 milliárd	Március 4.
Oxigénszint emelkedik (eukarióták)	2,5 milliárd	Június 15.
Többsejtűek	1,0 milliárd	Október 13.
Szilárd vázas élőlények	0,57 milliárd	November 16.
Szárazföldi növények	0,44 milliárd	November 26.
Szárazföldi gerincesek	0,40 milliárd	November 29.
Dinoszauruszok kihalása	0,065 milliárd	December 26.
Emberszabásúak	4,0 millió	December 31. 16:19
Homo sapiens	0,1 millió	December 31. 23:45
Jézus születése	2,0 ezer	December 31. 14 s éjfél előtt

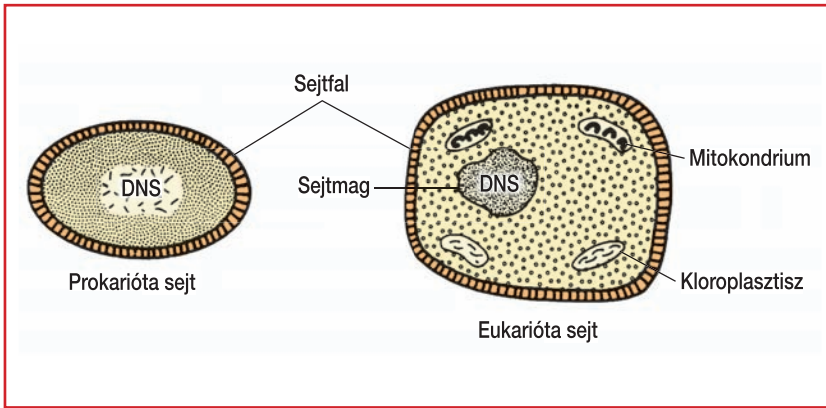


Ősmaradványok, ammoniták

Ez a hatalmas időszak szinte áttekinthetetlen az emberi elme számára. Célszerű ezért a Föld korát egy évnek tekinteni, és az egyes eseményeket az év napjaiban kifejezni. A Föld története során a környezet jelentős változásokon ment keresztül. Így mintegy négymilliárd évvel ezelőtt létrejöttek az óceánok és a szárazföldek, 3,8 milliárd éve az első egysejtű élőlények, baktériumok.

Az első egysejtűek sejtmag nélküli, ún. prokarióták voltak, majd megjelentek a sejtmaggal rendelkező egysejtűek, az eukarióták (4. ábra), amelyeknél az örökítő anyag – a DNS – a sejtmagban helyezkedett el, és a sejt fotoszintézisre képes kloroplasztiszt, illetve az energiatermelésre szolgáló mitokondriumot is tartalmazott.

Az eukarióták valószínűleg a sejtmagos, illetve a sejtmag nélküli lények szimbiózisából, együttéléséből születtek. Mint a 2. táblázat mutatja, ekkor már nyár eleje, június 15-e volt. Az egysejtűek az óceánokban több mint 2,5 milliárd éven keresztül az egyedüli élőlények voltak. Az első puhatestű többsejtűek az óceánokban egymilliárd évvel ezelőtt, az ős derekán keletkeztek.



4. ábra. Sejtmaggal nem (prokarióta) és sejtmaggal rendelkező (eukarióta) egysejtűek.

Mintegy hatszázmillió évvel ezelőtt (november 16.) az óceánokban forradalmi változások kezdődtek: kialakultak az első szilárd vázas élőlények. A fotoszintetizáló élőlények anyagcseréje következtében a légkörben egyre több oxigén gyűlt össze, majd mintegy négyszázmillió éve az oxigénből keletkező ózon kiszűrte a Nap sugaraiból a halálos, nagy energiájú sávokat. Ez megnyitotta az utat a szárazföldi élet számára (november 26.).

Az első szárazföldi élőlények a növények (mohák, harasztok) voltak, majd rövidesen a rovarok is megjelentek. A hüllők az első kétlábú gerincesből származtak. A Földet több százmillió éven keresztül a hüllők uralták, amelyek minden bizonnyal az emlősök és a madarak ősei voltak. Hatvanötmillió évvel ezelőtt, karácsony másnapján, a hüllők nagy része (például dinoszauruszok) kihalt, és fejlődésnek indultak az emlősök. Ezzel párhuzamosan a növényvilágban uralkodó váltak a virágos növények, amelyek szaporodásában a rovarok fontos szerepet játszanak.

A fejlődés kb. négymillió éve az emberszabásúak kialakulásához vezetett, majd megjelentek az előemberek, és mintegy százezer éve a mai, gondolkodó ember, a *Homo sapiens*. Ekkor azonban a Föld korát tekintve, már december 31-én, 23 óra 45 perc volt, azaz fajunk a bolygó történetét tekintve csak az utolsó percekben létezett.

Végül időszámításunk kezdetén, Jézus születésekor az egy évből már csak másodpercek voltak hátra. Közben – ahogy már utaltunk rá – a lemeztektonikus mozgások hatására mozogtak a szárazföldek, hidegebb és melegebb periódusok váltogatták egymást.

Ózonréteg:

a légkör mintegy 15–50 km magasságban fekvő rétege, amelyben a napsugárzás hatására három oxigénatomból álló ózonmolekulák keletkeznek. Ezek a molekulák elnyelik a nagy energiájú, az életre halálos napsugárzást, megvédve így módon a szárazföldi életet.



Allosaurus (rajzolt ábra)

Az ember és környezete

A környezet az élő szervezeteket körülvevő élő (bioszféra) és élettelen (légkör, talaj, hidroszféra) földi tartományok együttes rendszere. Az élővilág és környezete állandó kölcsönhatásban van, folytonos energia- és anyagcsere zajlik köztük. Az élőlények közül különösen fontos számunkra az emberi faj, amely tevékenységével a környezet alakítójává vált. Ebben fontos szerepet játszott mintegy tízezer éve a letelepedéssel együtt járó mezőgazdasági forradalom, amely a felszín átalakításával, a talajok energia- és anyaggazdál-

**Biodiverzitás:**

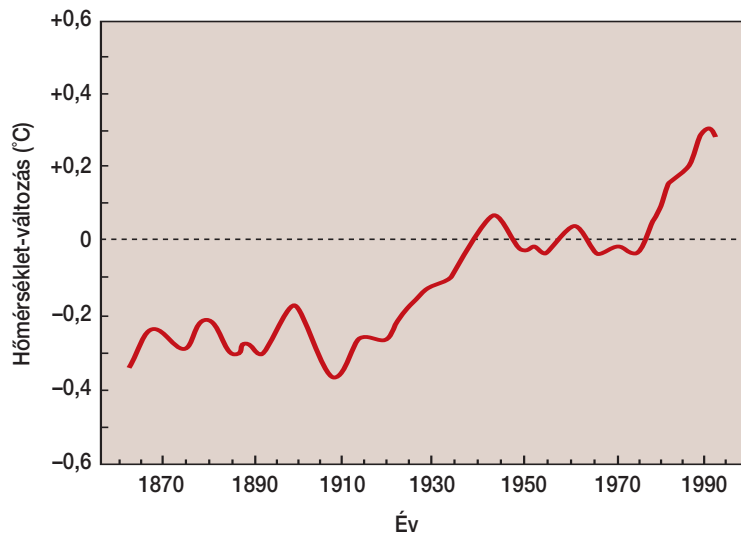
biológiai sokféleség, általában az élőlénytársulások változatosságára jellemző faj/egyed-diverzitást értik alatta, de beszélhetünk adott fajon belüli géndiverzitásról is.

Üvegházhatás:

olyan légköri molekulák (pl. szén-dioxid, metán) hozzák létre, amelyek átengedik a Naptól érkező sugárzást, de elnyelik a Föld által kisugárzott hőt.

kodásának megváltozásával, a növény- és állatvilág sokféleségének csökkenésével járt. Az ember különösen az 18. századtól induló ipari forradalom után lett a környezet alakítója, amikor az energiatermelés, és ennek köszönhetően az ipari produkció alapvető tevékenységgé vált.

Korunkban az ember hatalmas földi anyagmennyiséget mozgat meg, alakít át, és a fölösleges termékeket a levegőbe, a talajba, a felszíni vizekbe és az óceánokba bocsátja. A mezőgazdasági és élelmiszer-termelés érdekében befolyásolja a természetes szárazföldi bioszférát (például erdőirtások), a talajok anyag- és hőforgalmát, valamint halászzattal a folyók, a tavak és az óceánok élővilágát. Mindez a nagyvárosokban élő emberek egészségének romlásához, a talaj és a természetes vizek sav- és nitráttartalmának növekedéséhez, az ivóvíz minőségének csökkenéséhez, végső soron nem kívánt éghajlatváltozásokhoz és az élővilág elszegényedéséhez vezet.



5. ábra. A Föld átlagos hőmérsékletének változása az 1960–1990-es évek középtévéhez viszonyítva (IPCC, 2001)



Már a környezetre kevésbé káros készítményeket is előállítanak

Az emberi hatások közül különösen fontosak a globális változások, amelyek az egész bolygót érintik. Így a légkörben földi léptékben növekszik az **üvegházhatású** gázok koncentrációja, amit elsősorban az energia-termelés okoz. A szén-dioxid mennyiségének növekedésével párhuzamosan valamelyest csökken az oxigén légköri szintje, amely azonban elhanyagolható mértékű. Ezzel szemben az üvegházhatású gázok, így a szén-dioxid koncentrációjának növekedése az éghajlat melegedését eredményezi (5. ábra).

Záró megjegyzések

Különleges bolygón élünk. Története során a Föld különleges arculatát számos kozmikus esemény és földi folyamat befolyásolta. A kozmikus hatások hatalmas meteoritbecsapódások formájában jelentkeztek. Ilyen be-

csapódásnak köszönhetjük égi társunkat, a Holdat, de a dinoszauruszok kihalását is minden bizonnyal ilyen katasztrófa okozta. A földi folyamatokat hatalmas geológiai mozgások hozták létre, míg ezzel párhuzamosan a bioszféra egyre bonyolultabbá vált és elfoglalt minden rendelkezésre álló teret.

A biológiai evolúció végén megjelent az értelemmel rendelkező ember, aki képes a földi folyamatokat megérteni, és szolgálatába állítani. Így rájöttünk arra, hogy bolygónk egységes egész, élő és élettelen részének működése szoros egységet alkot. A tudománynak további feladata, hogy ezt a bonyolult rendszert megismerje, és jövőnk megtervezése céljából lakható bolygónk sajátosságait a tudomány eszközeivel feltárja. A tudománynak meg kell alapoznia azokat az ismereteket, amelyek lehetővé teszik, hogy tevékenységünket bolygónk törvényeivel összhangban alakítsuk.

A tudomány jelenlegi állása nem teszi lehetővé annak eldöntését, hogy ennek a különleges, lakható bolygónak, a Földnek a fejlődését, így elsősorban az élet kialakulását vajon speciális, véletlen folyamatok összejatszása tette-e lehetővé. Vagy olyan folyamatokról van szó, amelyek a világ-egyetem több csillagrendszerében is végbementek. Ennek az alapvető kérdésnek a meghatározása szintén a jövő tudomány nagy feladatai közé tartozik.



VIII. Henrik csillagász. H. Holbein festménye, 1528



Ajánlott irodalom

Almár Iván: Élet az Univerzumban: szabály vagy kivétel?
In: Mindentudás egyeteme. 1. Bp.: Kossuth K., 2003.
133–146. p.

Barrow, John D.: A művészi világegyetem. Bp.: Kulturtrade,
1998.

Ernst, Wallace Gary (ed.): Earth Systems. Processes and
Issues. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid:
Cambridge University Press, 2000.

IPCC (International Panel on Climate Change): Climate
Change 2001. Cambridge, New York, Melbourne,
Madrid: Cambridge University Press 2001.

Lovelock, James E.: Gaia. A new look at life on Earth.
Oxford, New York, Toronto, Melbourne: Oxford
University Press, 1979.

Lunin, J. I.: Earth. Evolution of a Habitable World.
Cambridge, New York, Melbourne, Madrid: Cambridge
University Press, 1999.

Margulis, Lynn: Az együttélés bolygója. Bp.: Vince K., 2000.

Mészáros Ernő: A Föld rövid története. Múlt, jelen, jövő.
Bp.: Vince K., 2001.

Mészáros Ernő: A környezettudomány alapjai. Bp.:
Akadémiai K., 2001.

Paturi, Felix R.: A Föld krónikája. Bp.: Officina Nova, 1993.

Sullivan, Walter: A vándorló kontinensek. Bp.: Gondolat,
1985.

Szabó István Mihály: Az általános talajtan biológiai alapjai.
Bp.: Mezőgazdasági Kvk., 1986.